

「きつい」と感じるスポーツウェアの 皮膚圧迫効果の実験的研究

金 沢 大 学	平田 耕造
(共同研究者) 同	永坂 鉄夫 布村 忠弘
同	野田 祐子 紫藤 治
金沢女子短期大学	平井 敦夫
金沢経済大学	平下 政美
金沢工業大学	高畑 俊成

Effects of Lower-Limb Compression on Changes in Blood or Plasma Volume, and Cardiovascular Responses

by

Kozo Hirata, Tetsuo Nagasaka, Tadahiro Nunomura,
Yuko Noda and Osamu Shido

*Department of Physiology, School of Medicine,
Kanazawa University*

Atsuo Hirai

Kanazawa Women's Junior College

Masami Hirashita

Kanazawa College of Economics

Toshinari Takahata

Kanazawa Institute of Technology

ABSTRACT

To investigate the effects of lower-limb compression (LLC) on (1) changes in blood or plasma volume, and cardiovascular responses, and (2) perceived sense of compression, six healthy subjects were tested. The LLC at 40mmHg in supine posture resulted in a significant increase of 3.0 and 4.8% for blood and plasma volumes, and a significant decrease

of 10bpm for heart rate, respectively. Red cell mass was unaffected by LLC. Resumption of blood or plasma volume and heart rate were much faster with compression than that without it after exercise at 50% \dot{V}_{O_2} max for 10min. Subjects perceived the LLC at 40mmHg slightly tight.

These results suggest that LLC of the slightly tight degree is effective to prevent the hydrostatic force on body fluid shift and cardiovascular response.

要 旨

健康な成人6名を対象として、1) 血液量、血漿量変化と循環系応答に及ぼす下肢加圧の効果、2) 下肢加圧による圧迫感覚の変化を検討した。立位姿勢で 40mmHg の下肢加圧では、血液量、血漿量は無圧条件下に比べおのおの3.0%、4.8% 有意に高くなり、心拍数は 10bpm 有意に減少した。赤血球容積は下肢加圧により変化しなかった。40mmHg の下肢加圧条件下で、50% \dot{V}_{O_2} max の自転車エルゴメータ運動を10分間行った場合、運動後の血液量、血漿量および心拍数の回復は有意に速かった。40mmHg の下肢加圧は圧迫感覚では「ややきつい」に相当した。これらの結果より、ややきついと感ずる下肢加圧では、安静・運動時ともに立位による静水学的圧の影響を軽減するのに有効であることが判明した。

1. 緒 言

垂直方向に作用する重力は、姿勢を変換すると身体に対する作用方向が相対的に変化する。立位では重力が頭部から足部方向に作用し、下肢に血液が移動することになる。仰臥位に比べ、立位では心容積、心拍出量が減少し、下肢の貯留血液量が増加し¹⁾、循環系への負荷が増大する。このような静水学的圧の変化に伴い、血液と間質液の間の水分移動にも大きく影響する。これらの影響を軽減するには身体を外部から圧迫することが有用である。事実、パイロット用の耐G服などが影

響軽減のため使用されている¹⁰⁾。

身体活動を行うために、種々な種類のスポーツウェアが開発・販売されている。中には「きつい」と感じるほど身体を圧迫するスポーツウェアを着用し、様々なスポーツ活動を行っている人々も多い。

本研究の目的は、この皮膚圧迫が安静時および運動時に体液量変化や循環系応答にいかなる影響を及ぼすか検討することである。さらに圧迫感覚と生理学的変化との関係を求め、実用的な目安を探ることも合わせて目的とした。

2. 研究方法

1) 被 験 者

本研究では健康な成人6名(男5名, 女1名)を被験者として用いた。彼らの身体的特徴は表1に示した。

表1 被験者の身体的特徴

被験者	性	年 齢 (yrs)	身 長 (cm)	体 重 (kg)
1	♀	25	153	43
2	♂	30	161	67
3	♂	31	172	69
4	♂	33	164	55
5	♂	34	171	65
6	♂	35	170	67

2) 測 定 項 目

2-1) 圧迫感覚

表2に示したカテゴリースケールを被験者に見せ、両下肢に装着したカフで加圧を行った時、大腿部、下腿部、足部に感じる圧迫感覚を1分ごと

表2 圧迫感覚のカテゴリースケール

V	: 非常にきつい
IV	: かなりきつい
III	: きつい
II	: ややきつい
I	: ゆるい
0	: 何も感じない

に口頭で申告させた。

2-2) 食道温 (Tes), 平均皮膚温 (\bar{T}_{sk})

Tes は鼻孔から約40cmの食道内に留置したサーミスター (タカラ工業) により測定した。

\bar{T}_{sk} はサーミスターにより全身7カ所で測定した皮膚温 (T_{sk}) から以下の式により算出した⁷⁾。

$$\bar{T}_{sk} = 0.07T_1 + 0.35T_2 + 0.14T_3 + 0.05T_4 + 0.19T_5 + 0.13T_6 + 0.07T_7$$

ただし,

- T_1 : 前額皮膚温
- T_2 : 体幹部皮膚温
- T_3 : 腕部皮膚温
- T_4 : 手部皮膚温
- T_5 : 大腿部皮膚温
- T_6 : 下腿部皮膚温
- T_7 : 足部皮膚温

Tes と \bar{T}_{sk} はデータ・ロガー (K 923タカラ工業) を介し、パーソナル・コンピュータ (PS 80, ティアック) に入力し、30秒ごとに記録した。

2-3) 心拍数 (HR)

HR は胸部双極誘導で導出した心電図出力を心拍計 (AT-600 G, 日本光電), DC アンプ (SA 15 U, ティアック), A/D コンバーター (PS 80, ティアック) に入力し、30秒間の平均値を算出し30秒ごとに記録・測定した。

2-4) 前腕血流量 (FABF)

FABF は静脈閉塞プレチスモグラフィにて測定した。Whitney 型¹⁰⁾の水銀を封入した Silastic-ストレインゲージを手首より16.5cm 頭側の前腕に10gの張力で巻きつけ、さらに、温度補償用ストレインゲージ⁸⁾を近傍に装着した。静脈閉塞用カフ (幅13cm) を上腕に、さらに、手への血流遮断用カフ (幅5cm) を手首に装着した。加圧は圧縮空気ポンベに接続したソレノイドバルブのスイッチ操作により行った。血流量測定開始1分前に手首のカフを240mmHgに加圧して手への血流を遮断した後、3分間、毎分2回の割合で10秒間ずつ静脈閉塞用カフを60mmHgに加圧して前腕周径変化を記録し、FABFを算出した。

2-5) 皮膚血流量 (LDFoutput)

2名の被験者について、レーザー・ドップラー血流計 (ALF2100, アドバンス社) を用いて、姿勢変換時の前腕の皮膚血流量の相対的变化を測定した。前腕屈側で手首より16.5cmの位置にホルダーを両面接着テープで貼付しプローブを装着した。レーザー・ドップラー血流計からの出力 (LDFoutput) は二素子平衡型記録計 (SP-5, 理研電子) に記録した。なお、血流ゼロ時の出力は上腕に装着したカフを240mmHgに加圧し血流を遮断して得た。測定したLDFoutputより血流ゼロの時の出力を差し引いて血流量の相対値とした。

2-6) ヘマトクリット (Hct)

Hct は採血した注射筒より、ヘマトクリット用ガラス毛細管3本に採取し、毎分12,000回転で5分間遠心した後測定した。Hctは4%の Trapped plasmaを補正し⁴⁾、3本の平均値をその時点の値とした。

2-7) ヘモグロビン濃度 (Hb) および (MCHC)

Hb はシアンメトヘモグロビン法にて、3本ずつ測定し、その平均値を各採血時点の値とした。MCHC は $Hb \cdot 100 / Hct$ の計算より求めた。

2-8) Δ 血液量 (ΔBV), Δ 赤血球量 (ΔCV)

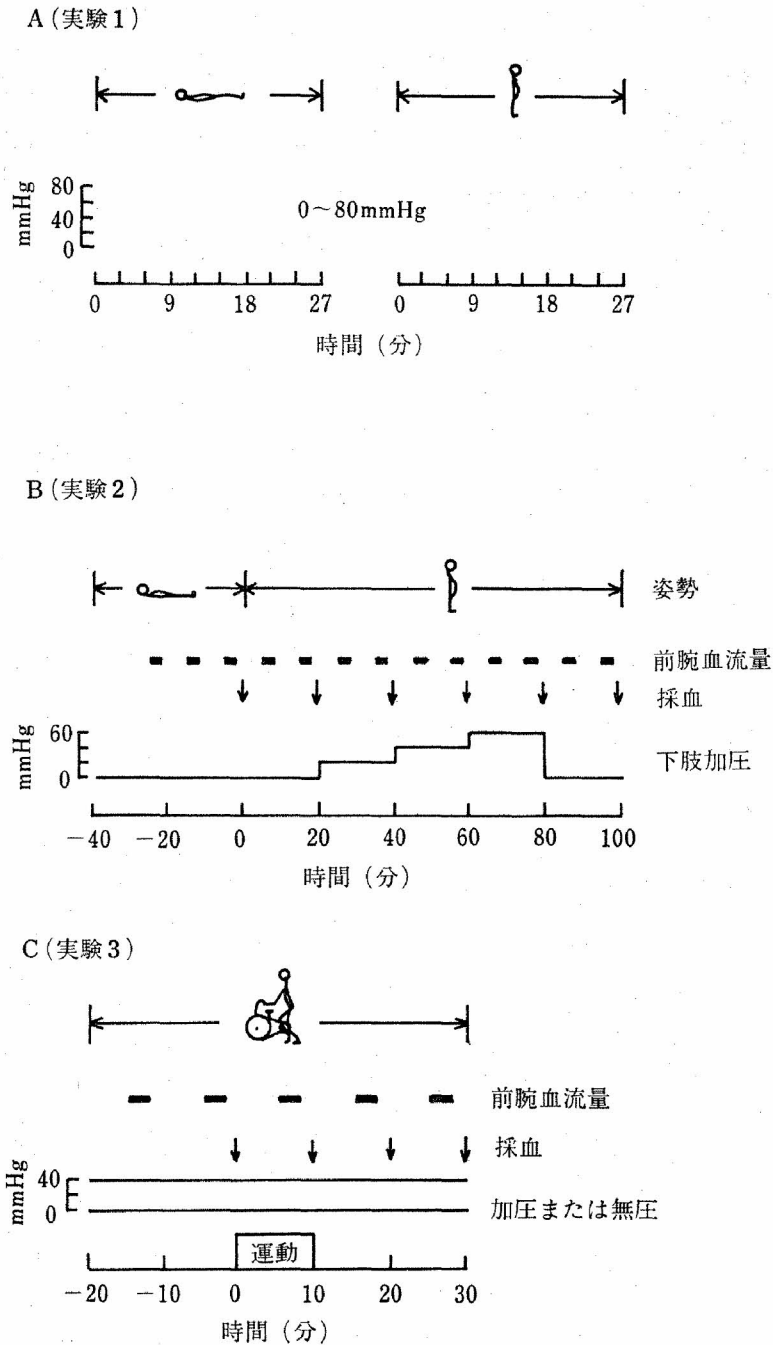


図1 実験手順の概略

およびΔ血漿量 (ΔPV)

本研究では、これらの変化量は無圧状態で立位安静またはサドル上で運動前安静時からの変化量として、Dill と Costillの方法⁴⁾により算出した。下肢加圧のこれらの項目への真の効果を観察するため、加圧後の0mmHgでの値をもとに経時変化を補正して表示した(図6)。

3) 実験手順

本研究は実験1～3の3種類の実験から成っている。実験手順の概略は図1に示した。

実験1 仰臥位および立位での下肢加圧による圧迫感覚の変化

本実験には6名が被験者となった。室温 $27 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、湿度 $40 \pm 2\%$ に調節された人工気象室内で、加圧用カフを装着した。幅13cmのカフを足部と足首に、幅18cmのカフを下腿部に一枚、大

腿部に二枚それぞれを両肢に巻き、テーピング用伸縮テープでずれを防ぐために固定した後、ベッド上で仰臥位安静をとらせた。10mmHgごとに0~80mmHgの9種類の圧力を3分間ずつ無作意に変化させ加圧した。ただし、30mmHg以上の圧力は3回以上連続しないように留意した。加圧は、人工気象室外に置いたボンベ内の圧縮空気を減圧弁→貯留槽→ニードルバルブを介し、ソレノイドバルブを開口することによりカフ内に送気して行った。圧力はニードルバルブを調節することにより変化させた。この間、大腿部・下腿部および足部について、おのおのの圧迫感覚を口頭で毎分申告させた。立位でも同様の測定を行った(図1A)。

実験2 安静状態での姿勢変換と立位での下肢加圧の効果

6名中4名が本実験の被験者となった。被験者は、朝食抜きの条件で来室し、ランニングパンツのみを着用した。心電図用電極、Tes用プローブを装着後、あらかじめ所定の環境条件(室温 $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $40 \pm 2\%$)に設定された人工気象室に入室した。Tsk用サーミスター、下肢加圧用カフを装着、固定した後、ベッド上で仰臥位安静をとらせた。直ちにFABF測定のためにストレインゲージ、静脈閉塞用カフ血流遮断用カフを装着した。図1Bに示したように、40分間の仰臥位安静中に毎分2回の割合で3分間ずつ(15~18, 25~28, 35~38分)3回、FABF測定を行った。40分目に肘静脈より2ml採血した。

その後壁を背に起立し、100分間直立姿勢を保持した。その間、最初20分間加圧なしの無圧状態とし、その後、20分ごとに20, 40, 60mmHg相当の下肢加圧を行い、再び無圧状態に戻し20分間維持した。測定時間については、血漿量変化が新しい条件ではほぼ定常状態となるために20分間を要するとの報告¹⁵⁾に基づき、各条件につき20分間と

した。20分ごとの各条件の最後に2mlずつの採血を行った。FABFは各条件20分間のうち、5~8, 15~18分の3分間ずつ2回、毎分2回の割合で測定した。

なお、HR, Tes, 全身7点のTskおよび \bar{Tsk} は30秒ごとに測定した。

実験3 運動時の下肢加圧効果

本実験には6名中4名が被験者となった。被験者は朝食抜きの条件で来室し、ランニングパンツのみを着用した。心電図用電極、Tes用プローブを装着後、あらかじめ所定の環境条件(室温 $27 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $40 \pm 2\%$)に設定された人工気象室に入室した。Tsk用サーミスター、加圧用カフを装着、固定後、自転車エルゴメータ(モナーク社)のサドルに腰掛け、FABF測定用ストレインゲージおよび上腕・手首のカフを装着した。20分間安静の後、各被験者の約50% $\dot{V}O_2\text{max}$ に相当する負荷でメトロノームに合わせ、毎分50回転で10分間の自転車運動を行わせた。その後20分間、サドル上で安静を保持し、回復過程の観察を行った。

この実験は40mmHgの圧力で下肢加圧した状態としない状態での測定を40分間の休息をはさんで行った。2名は加圧→無圧の順に、他の2名は逆に無圧→加圧の順に行った。FABF測定および採血は図1Cのように行った。なお、HR, Tes, \bar{Tsk} は30秒ごとに測定した。

3. 結 果

1) 下肢加圧による圧迫感覚の変化

図2は、仰臥位および立位で下肢加圧を行った時の下肢各部の圧迫感覚の変化を6人の平均値と標準誤差で示した。仰臥位、立位いずれの姿勢でも、また大腿、下腿、足いずれの部位であっても、加圧する圧力の増加に伴い圧迫感覚はほぼ直線的に上昇した。下肢加圧に対する圧迫感覚(カテゴリースケール)の変化を現す回帰直線の式を求めると次のようであった。

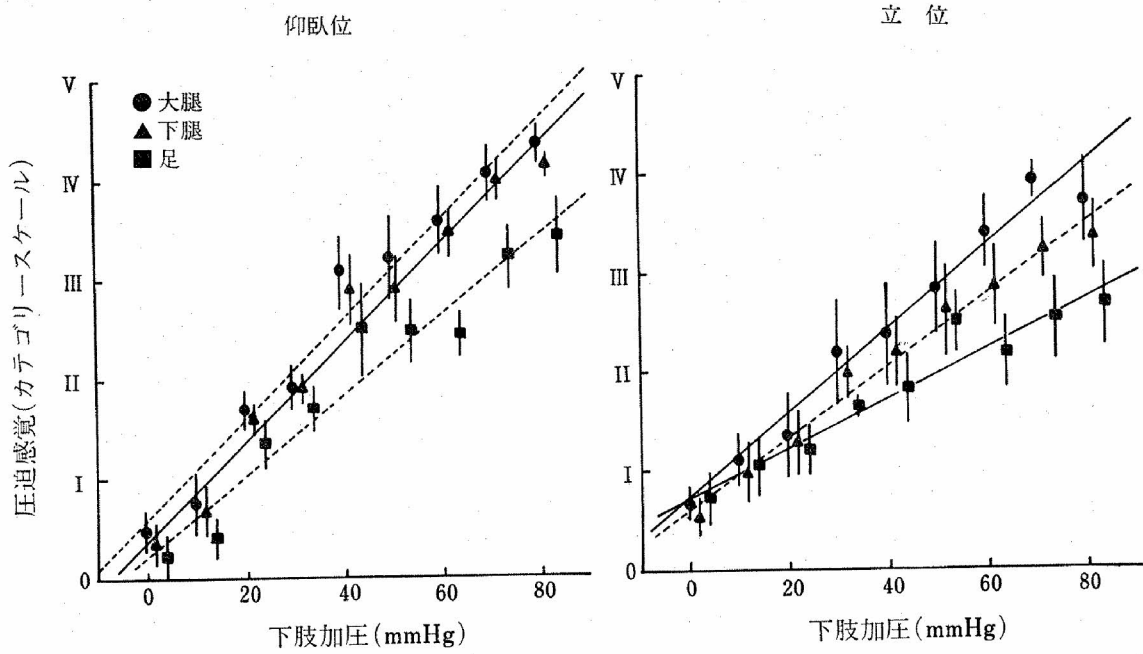


図2 仰臥位および立位での下肢加圧による圧迫感覚の変化

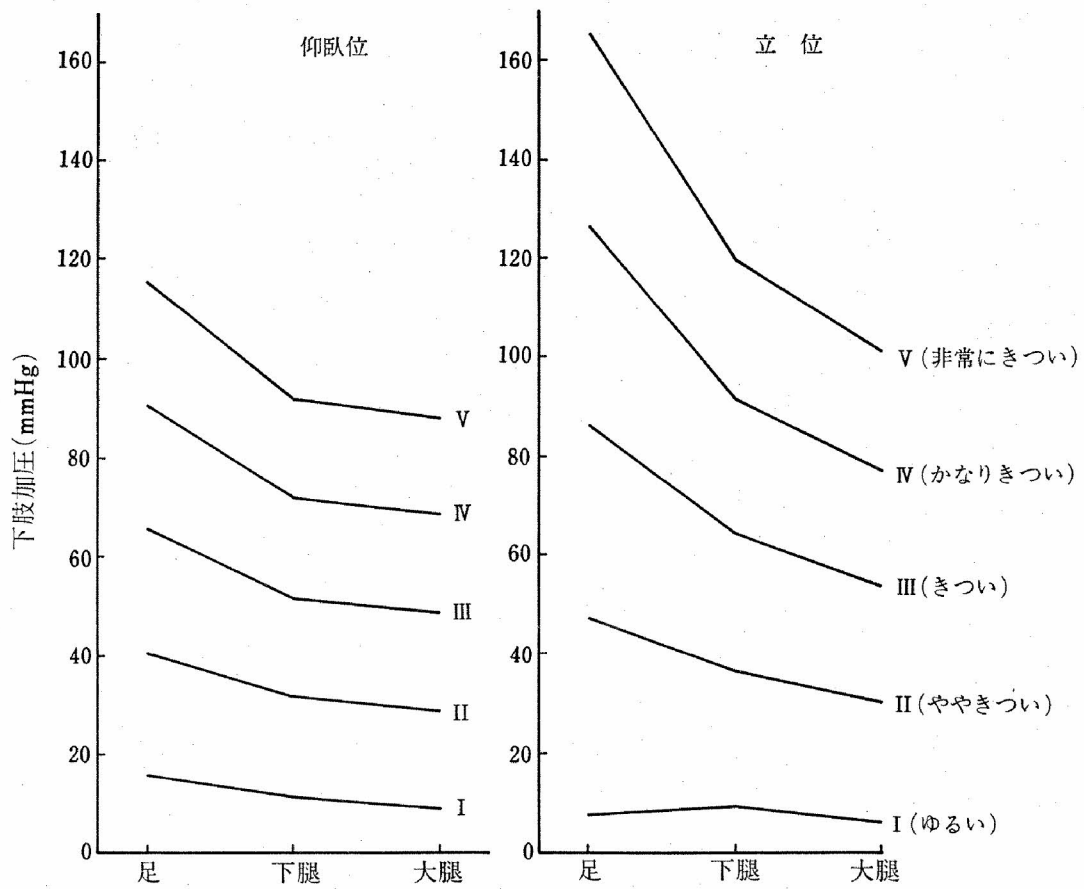


図3 仰臥位および立位での下肢加圧による各部位における同一圧迫感覚

仰臥位

大腿部 $y=0.051x+0.54$ ($r=0.985$)

下腿部 $y=0.050x+0.43$ ($r=0.986$)

足 部 $y=0.040x+0.36$ ($r=0.969$)

立 位

大腿部 $y=0.042x+0.72$ ($r=0.985$)

下腿部 $y=0.036x+0.66$ ($r=0.990$)

足 部 $y=0.025x+0.80$ ($r=0.968$)

仰臥位ではいずれの下肢部位でも立体に比べその傾きは高い。また、大腿部と下腿部の傾きは同一であったが、足部はやや低くなった一方、立位では大腿部から足部へと部位が下がるにしたがい、その傾きは低下した。

図 3 は、下肢加圧に対する圧迫感覚の変化を示す回帰直線の式から、下肢各部位について I ~ V の圧迫感覚を申告する加圧の程度を算出し、同一の申告をする加圧点を結んだものである。立位では仰臥位よりも高い圧力で加圧されたとき、同一の圧迫感覚となる。また下肢の各部位で同一の圧迫感覚を申告するには、足部、下腿部、大腿部の順に高い圧が必要となる。

2) 姿勢変換と立位での下肢加圧の効果

Hct, Hb, MCHC, Tes, \bar{T}_{sk} および FABF の変化に及ぼす、姿勢変換と下肢加圧の効果を表 3 に示した。

仰臥位から立位に移ると、Hct, Hb は著明に

増加した。この増加率はおのおの 7.3%, 8.6% に相当した。一方、下肢加圧を行うと加圧の増加に伴い Hct, および Hb は減少傾向を示し、立位 0 mmHg に比べ 40mmHg では 1.6%, Hb は 2.7% 減少した。0 mmHg にすると再び高値に戻った。MCHC も Hct や Hb と同様の傾向が観察されたが、その程度は小さかった。

Tes は姿勢変換および 60mmHg の下肢加圧を解除した後、わずかな上昇が見られたものの有意な変化ではなく、実験中ほぼ熱平衡状態にあったものと思われる。

\bar{T}_{sk} は仰臥位では立位より高かった。立位で下肢加圧中には有意な変化は認められなかった。

図 4 には仰臥位と立位時の FABF, LDFoutput および HR を示した。FABF と LDFoutput は立位に比べ、仰臥位で有意に高い値を示した。

図 5 は姿勢変換による ΔBV , ΔCV と ΔPV の効果を示した。立位に比べ仰臥位では ΔBV が 8.6% 高値を示した。 ΔCV はほとんど変化しなかったが、仰臥位で ΔPV は立位より 14.5% も高い値を示した。

図 6 には ΔPV , ΔCV , ΔPV および ΔHR に及ぼす下肢加圧の効果を示した。 ΔCV は加圧により多少増加傾向を示したが有意な変化ではなかった。 ΔBV と ΔPV は下肢加圧により増加した。 ΔBV は 40 と 60mmHg の加圧でおのおの 3.0%, 3.1

表 3 血液性状, 血流量および体温変化に及ぼす姿勢変換と下肢加圧の効果

姿 勢	仰臥位		立 位			
	0	0	20	40	60	0
加 圧 (mmHg)	0	0	20	40	60	0
Hct(%)	41.40±1.22	44.43±1.14	44.48±1.36	43.74±1.25	44.02±1.20	45.04±1.34
Hb(g·100ml ⁻¹)	16.35±0.34	17.75±0.27	17.66±0.34	17.29±0.40	17.28±0.35	17.84±0.34
MCHC(g·100ml ⁻¹ RC)	39.52±0.46	40.00±1.04	39.74±0.82	39.56±0.41	39.29±0.54	39.65±0.63
Tes (°C)	37.02±0.16	37.20±0.10	37.16±0.11	37.11±0.09	37.17±0.08	37.30±0.07
\bar{T}_{sk} (°C)	35.72±0.38	35.17±0.17	35.17±0.17	35.28±0.25	35.31±0.24	35.15±0.32
FABF(ml·100ml ⁻¹ ·min ⁻¹)	3.41±0.53	1.80±0.23	1.74±0.11	1.45±0.10	1.60±0.11	1.18±0.13

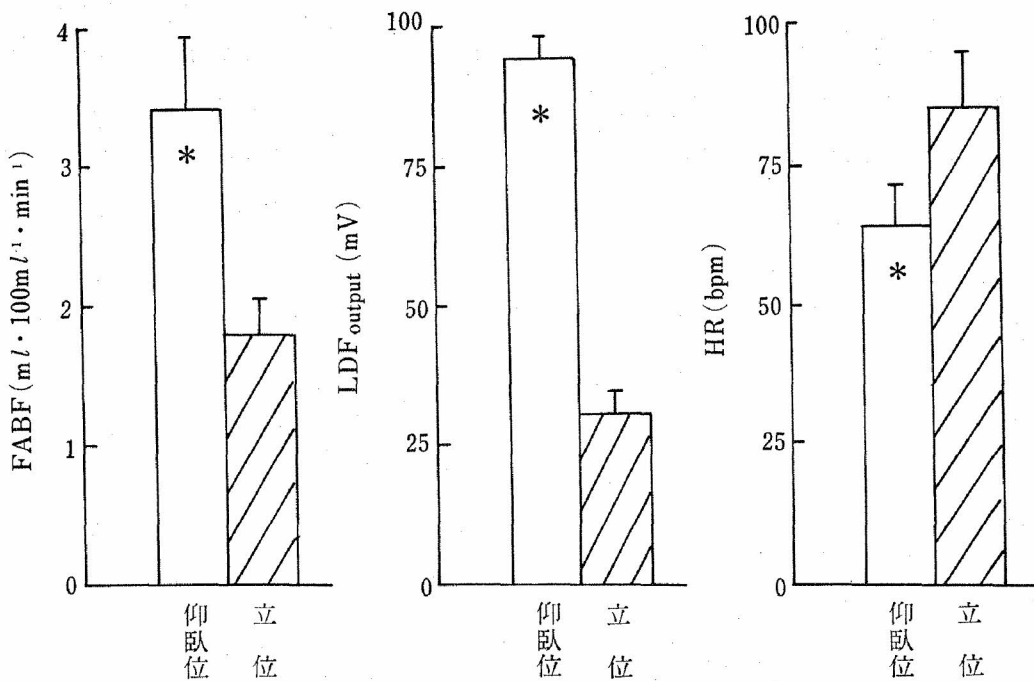


図4 前腕血流量, レーザー・ドップラー血流計による前腕皮膚血流量, 心拍数に及ぼす姿勢変換の影響 *p<0.05

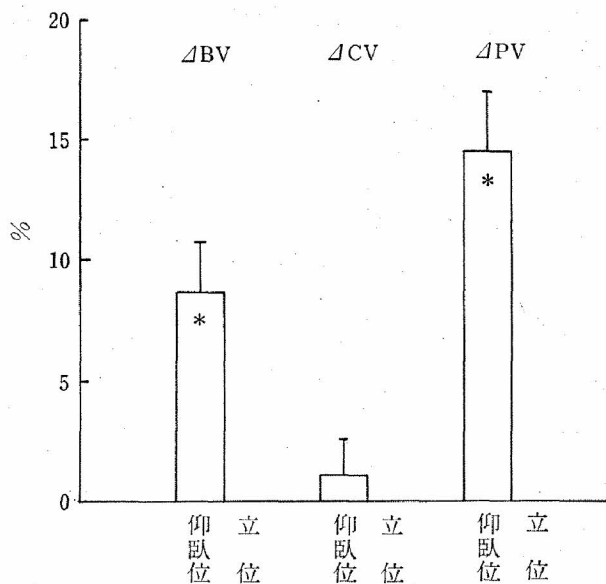


図5 Δ血液量, Δ赤血球量, Δ血漿量に及ぼす姿勢変換の効果 *p<0.05

%と有意な増加を示した。また, ΔPV はおのおの4.8%と4.7%の有意な増加を示した。一方, これとは逆に, ΔHR は下肢加圧により, 40および60mm Hg の加圧では, おのおの -10.0と-9.7bpm と有意な減少を示した。

3) 運動時の下肢加圧効果

表4には運動時のHtc, Hb, MCHC, FABF, Tes および Tsk に及ぼす下肢加圧の効果を示した。Hct と Hb は運動により増加し, 終了後減少したが, 回復20分目では運動前値には復さなかった。下肢加圧により無圧時と同様の変化が観察されたが, 実験中ずっと低値を示した。MCHC はいずれの条件下でも著明な変化は観察されなかった。

FABF は無圧時運動により増加を示し, 回復期にもとのレベルに復する傾向を示した。加圧時にはほぼ同様の変化をしたが, 値はやや高く, 回復20分目には回復10分目より増加する傾向を示した。Tes は運動により無圧および加圧条件ともほぼ同程度上昇し, 回復期には漸次下降したが, 回復20分ではまだ運動前値に復さなかった。Tsk は加圧条件下で回復20分にやや上昇傾向を示した以外は, 両条件下で運動中および回復期も大きな変化はなかった。

図7には運動前・中および回復期のΔPV, ΔCV, ΔPV と ΔHR の変化に及ぼす下腿加圧の影響を示

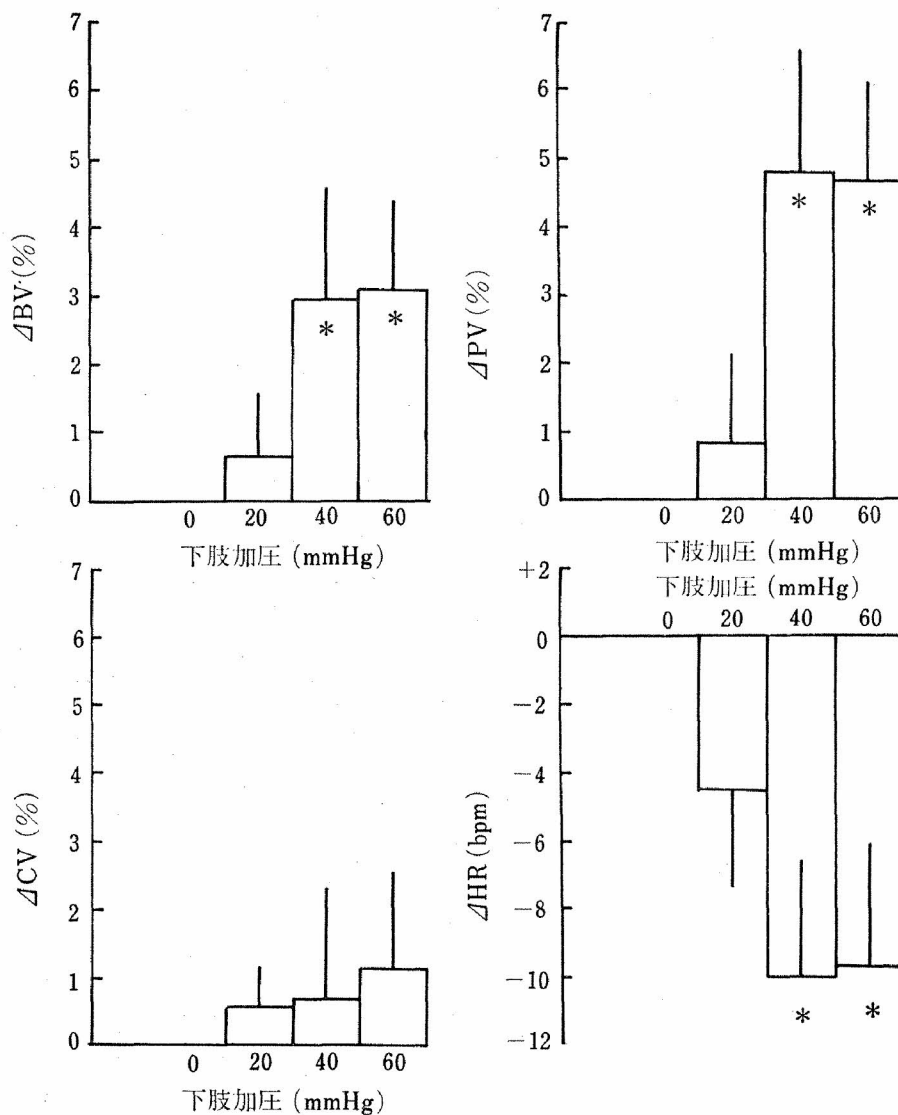


図6 Δ血液量, Δ赤血球量, Δ血漿量, Δ心拍数に及ぼす下肢加圧の効果 *p<0.05無圧値からの有意差

表4 運動前・中および回復期の血液性状, 前腕血流量, 体温変化に及ぼす下肢加圧の効果

		安 静	運 動	回 復 10分	回 復 20分
Hct(%)	無圧	43.97±1.30	45.87±1.42	44.37±1.85	44.53±1.20
	加圧	42.86±1.22	45.36±1.28	43.57±1.63	43.36±1.34
Hb(g·100ml ⁻¹)	無圧	17.14±0.51	18.16±0.57	17.51±0.63	17.46±0.34
	加圧	16.93±0.41	18.02±0.46	17.28±0.49	16.97±0.52
MCHC(g·100ml ⁻¹ RC)	無圧	39.01±0.57	39.60±0.59	39.46±0.60	39.22±0.58
	加圧	39.54±0.87	39.74±0.47	39.68±0.62	39.15±0.38
FABF(ml·100ml ⁻¹ ·min ⁻¹)	無圧	1.20±0.24	1.79±0.40	1.33±0.23	1.12±0.22
	加圧	1.39±0.20	2.26±0.90	1.45±0.35	1.71±0.47
Tes(°C)	無圧	36.80±0.10	37.30±0.22	37.10±0.17	37.01±0.13
	加圧	36.74±0.10	37.32±0.20	37.03±0.15	36.93±0.12
T _{sk} (°C)	無圧	33.38±0.54	33.57±0.55	33.23±0.26	33.65±0.22
	加圧	33.32±0.42	33.51±0.54	33.50±0.45	33.92±0.44

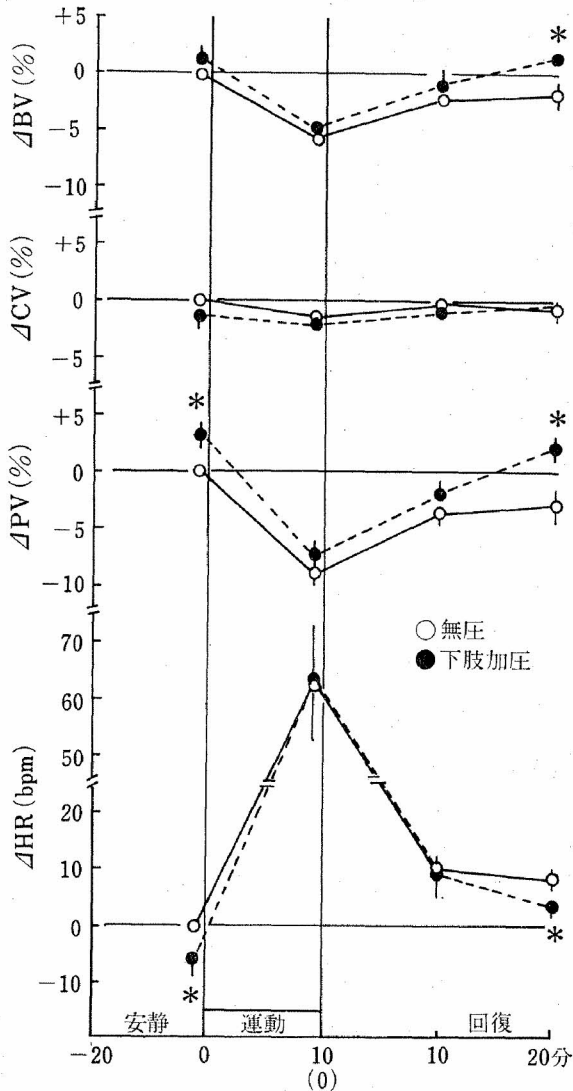


図7 運動前・中および回復時のΔ血液量, Δ赤血球量, Δ血漿量, Δ心拍数に及ぼす下肢加圧の影響 * $p < 0.05$ 無圧値からの有意差

した。無圧条件下では、運動により ΔPV は8.8%減少した。回復期には徐々に運動前値に近づいたが、20分目ではまだ運動前値までは回復しなかった。加圧条件下では運動前すでに無圧条件に比べ3.3%高かった。 ΔPV は運動により減少したが、その程度は無圧条件下より大きく10.5%に達した。回復期には20分目にほぼ運動前値にまで回復した。この時の値は無圧条件より有意に高かった。 ΔCV は両条件で運動中・回復期ともにほとんど変化しなかった。 ΔBV は ΔPV の変化に類似しており、回復20分には加圧条件の方が無圧条件よりも有意に高い値を示した。一方、 ΔHR は運動前の安静時および回復20分には加圧条件下で有

意に低値を示した。運動中と回復10分では両条件による差は観察されなかった。

4. 論 議

人の全血液量はほぼ体重に比例する。体重1kg当たり約75mLといわれ、70kgの体重の人の全血液量は5~5.5Lになる。このうち、70%は静脈系に、15%は心肺系に存在する。動脈系には10%、毛細血管系には5%といわれている。この血液量分布は静水力学的圧および血管のコンプライアンスの変化によって決まる⁸⁾。

姿勢変換により静水力学的圧が変化するため立位では仰臥位に比べ、下肢に貯留する血液量が増加し、静脈圧および毛細血管圧が増加する。Perryら¹²⁾によれば、仰臥姿勢のとき足部の静脈圧は17.1mmHg、毛細血管圧は23.4mmHgであったが、立位姿勢になると静脈圧、毛細血管圧はおのおの95.2mmHgと112.8mmHgに上昇したと報告している。さらに、暑熱負荷が加われば、皮膚血管のコンプライアンスは増加し、立位姿勢での下肢の貯留血液量は著増する。その結果、毛細血管内から間質へ滲過される液量は増加し、血漿量の減少を招く。図5に示したように、姿勢変換により14.5%の血漿量、8.6%の血液量の変化が生じた。この結果はHaganら⁶⁾、Waterfield¹³⁾の報告とほぼ一致するものである。

立位姿勢では仰臥位に比較して、心室の拡張期容積が減少するため、一回拍出量が減少し、代償的に心拍数が増加する。本研究では32%のHRの増加が観察された(図4)。しかし、心拍出量は立位姿勢では20%程度低くなる¹⁶⁾と報告されている。立位では末梢血管の収縮が起これ、総末梢抵抗は上昇し、拡張期血圧は上昇する。FABFは立位では仰臥位の53%に減少し、レーザー・ドップラーの出力も33%にまで減少したことより、前腕の皮膚血管収縮が起きていることが示された。Rowellら¹⁴⁾、TripathiとNadel⁷⁾によるLBNPの

結果から推察すると、筋血管の収縮も同時に起きているものと考えられる。

このような静水力的変化による影響を防止するため、外部から身体を圧迫することは有用であろう。なぜなら、外部からの圧迫により組織圧に及ぼす静水力的効果が変化し毛細血管での滲過の割合が変化する。その結果、血漿量や血液量に影響するであろう。

外部からの圧迫法の1つとして、水中浸漬法など数多くの研究が行われている^{2,3)}。立位で水中浸漬を行うと体液移動が起こるが、その程度は浸漬の深さによって異なる。立位で普通に観察される静水力的圧による変化は、横隔膜レベルまでの浸漬により消失すると報告されている¹³⁾。この方法では仰臥位安静で得られる体液量に極めて類似してくるのである。本研究で用いたカフによる下肢加圧は、立位姿勢で静水力的圧の影響に対し有用であることが判明した。

図6に示したように、40mmHgの加圧で血漿量は4.8%、血液量は3.0%有意に増加した。心拍数は10bpm (12%)減少し、一回拍出量の増加が示唆された。これらの変化の大きさは、加圧する身体範囲の大きさに依ると考えられる。本研究では、足部から大腿部までの加圧にもかかわらず、仰臥位から立位に変換したために生じた変化の約1/3を打ち消すことができた。つまり、血液量では8.6%の減少に対し3.0%、血漿量では14.5%の変化に対し4.8%おのおの回復させることができた。

図7に示したように、自転車エルゴメータ上で座位安静のときには、40mmHgの加圧による血漿量の増加が3.3%であった。立位時の4.8%に比較して若干少ないのは、姿勢の違いと環境温の違いによるものと思われる。しかし、運動前には高体液量の状態にある。Fortneyら⁵⁾は、運動により血漿量は減少するがその程度は体液量条件により異なると報告している。あらかじめ高体液量にしておくと、筋血流量が増加し、筋血管灌流圧

が高くなるためより多くの血漿が筋組織に移動するものと考えられている⁹⁾。本研究の結果はFortneyらのものと一致する。下肢加圧条件下では運動による血漿量減少は10.5%に達し、無圧条件下の8.8%より大きかった。運動終了に伴い、血漿量は元のレベルに近づいた。下肢加圧の効果は回復期にも現れ、血漿量の回復速度は速くなっている。一回拍出量の増加による代償作用として、心拍数の回復が早かったものと思われる。Nielsenら¹¹⁾は水中と空気中で同一強度の自転車エルゴメータ運動を行わせた。同一食道温のとき、前腕血流量、心拍出量、一回拍出量は水中での運動時に高い値を示したことを報告している。しかし、心拍数は両条件で差が認められなかった。本研究でも、運動中の心拍数は下肢加圧を行った条件でも差はなかった(図7)。

実験2および3で用いた下肢加圧40mmHgは、圧迫感覚カテゴリースケールでは「ややきつい」と申告された。「ややきつい」と感ずる程度の圧迫が加わるようなスポーツウェアを着用すると、上述のように静水力的圧変化による影響をかなり軽減できることが判明した。

謝 辞

御援助いただきましたデサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。

文 献

- 1) Badeer, H.S.; Cardiovascular Physiology. Karger, Basel, p.207 (1984)
- 2) Begin, R., Epstein, M., Sackner, M.A., Levinson, R., Dougherty, R. and Duncan, D.; Effects of water immersion to the neck on pulmonary circulation and tissue volume in man. *J. Appl. Physiol.*, **40**: 293—299 (1976)
- 3) Blomqvist, C.G.; Cardiovascular adjustments to gravitational stress. In: Handbook of Physiology, The cardiovascular system, edited by Geiger, S.R., Washington, D.C.: *Am. Physiol. Soc.*, sect.2, Vol. III, part.2, chapt. 28, p.1025—

- 1063 (1983)
- 4) Dill, D.B. and Costill, D.L.; Calculation of percentage changes in volume of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol.*, **37** : 247—248 (1974)
 - 5) Fortney, S.M., Nadel, E.R., Wenger, C.B. and Bove, J.R.; Effect of blood volume on sweating rate and body fluids in exercising human. *J. Appl. Physiol.*, **51** : 1594—1600 (1981)
 - 6) Hagan, R.D., Diaz, F.J. and Horvath, S.M.; Plasma volume changes with movement to supine and standing positions. *J. Appl. Physiol.*, **45** : 414—418 (1978)
 - 7) Hirata, K., Nagasaka, T., Hirai, A., Hirashita, M., Takahata, T. and Nunomura, T.; Effects of human menstrual cycle on thermoregulatory vasodilation during exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54** : 559—565 (1986)
 - 8) Honda, N.; Temperature compensation for mercury strain gauge used in plethysmography. *J. Appl. Physiol.*, **17** : 572—574 (1962)
 - 9) Nadel, E.R.; Body fluid and electrolyte balance during exercise: competing demands with temperature regulation. In: *Thermal Physiology*, edited by J.R.S. Hales, Raven Press, New York, p.365—376 (1984)
 - 10) Naimark, A. and Wasserman, K.; The effect of posture on pulmonary capillary blood flow in man. *J. Clin. Invest.*, **41** : 949—954 (1962)
 - 11) Nielsen, B., Rowell, L.B. and Bonde-Petersen, F.; Cardiovascular responses to heat stress and blood volume displacements during exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52** : 370—374 (1983)
 - 12) Perry, M.A., Colebatch, J.G., Glover, W.E. and Roddie, I.C.; Measurement of capillary pressure in humans using a venous occlusion method. *J. Appl. Physiol.*, **60** : 2114—2117 (1986)
 - 13) Risch, W.D., Koubenec, H.J., Beckmann, U., Lange, S. and Gauer, O.H.; The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution and heart rate in man. *Pflügers Arch.*, **374** : 115—118 (1978)
 - 14) Rowell, L.B., Wyss, C.R. and Brengelmann, G.L.; Sustained human skin and muscle vasoconstriction with reduced baroreceptor activity. *J. Appl. Physiol.*, **34** : 639—643 (1973)
 - 15) Tan, M.H., Wilmshurst, E.G., Gleason, R.E. and Soeldner, J.S.; Effect of posture on serum lipids. *New Engl. J. Med.*, **289** : 416—418 (1973)
 - 16) Thadani, U. and Parker, J.O.; Hemodynamics at rest and during supine and sitting bicycle exercise in normal subjects. *Am. J. Cardiol.*, **41** : 52—59 (1978)
 - 17) Tripathi, A. and Nadel, E.R.; Forearm skin and muscle vasoconstriction during lower body negative pressure. *J. Appl. Physiol.*, **60** : 1535—1541 (1986)
 - 18) Waterfield, R.L.; The effect of posture on the volume of the leg. *J. Physiol. (London)*, **72** : 120—131 (1931)
 - 19) Whitney, R.J.; The measurement of volume changes in human limbs. *J. Physiol. (London)*, **121** : 1—27 (1953)